

Förstudie

# Mätsystem med trådlösa sensorer ingjutna i betong

av  
Magnus Åhs

Ett projekt  
inom FoU Syd

  
SVERIGES  
BYGGINDUSTRIER





Förstudie  
Mätssystem med trådlösa sensorer  
ingjutna i betong

Magnus Åhs



LUND UNIVERSITY

Lunds Universitet  
Avd. Byggnadsmaterial  
Box 118  
221 00 Lund

Telefon:+46 46 222 74 15  
Telefax:+46 46 222 44 27  
[www.byggnadsmaterial.lth.se](http://www.byggnadsmaterial.lth.se)

---

## Förord

Förstudien är utförd på avdelningen Byggnadsmaterial vid Lunds tekniska högskola. Arbetet har utförts inom projektet Induco. Projektledare för den här förstudien är Magnus Åhs, på avd Byggnadsmaterial.

Information och kunskap om trådlösa sensorer i betong har inhämtats från litteraturstudier på internet där bland annat Scopus och Web of knowledge har använts. Litteratursökningen pågick från den 1:a juni till den 31:a augusti 2011. Det bör påpekas att referenslitteratur som presenterats i rapporten, 'Trådlös mätning av temperatur i nygjuten betong', inte har ingått i litteraturstudien. Stor vikt har lagts på att hitta nya referenskällor för att utvidga kunskapsläget inom ingjutna trådlösa sensorer.

Inom ramen för projektet har också följande personer kontaktats för att ytterligare förbättra kunskapsläget inom området trådlös informationsöverföring från en sändare ingjuten i armerad betong.

Juha Rajala, Electrotech AB  
Lars Olsson, Science Center, LTH.  
Per Engblom, Ericsson  
Jurek Dabrowski, Ericsson  
Hans Frennberg, FOI  
Magnus Gustafsson, FOI

Dessutom har Christer Karström, NCC Construction Sverige AB, Ronny Andersson, Cementa, Peter Weywadt, Sydsten AB och Britt Borgström, Sveriges Byggingindustrier Region Syd förtjänstfullt ingått i referensgruppen för den här förstudien.

Projektet har samfinansierats av SBUF genom NCC Construction Sverige AB och Cementa AB.

Lund, September 2011  
Magnus Åhs

---

## Nyckelord

Trådlös, sensor, betong, ingjuten

## Sökmotor och adress

Web of knowledge, <http://apps.webofknowledge.com/>

Scopus, <http://www.scopus.com/>

Google scholar, <http://scholar.google.se/>

Google, <http://www.google.com/>

FOIs publikationer, <http://www.foi.se/>

## Sökord

concrete + radio wave

+ internal sensor

+ embedded sensor

+ wireless

betong + sensor

sensors in concrete

---

## Sammanfattning

Den här förstudiens syfte är att beskriva kunskapsläget inom området, 'Mätsystem med trådlösa sensorer ingjutna i betong' och att föreslå lämpliga forsknings- och utvecklingsprojekt inom området. Dessutom är syftet att söka efter kommersiella system på marknaden. Ytterligare ett syfte med förstudien var att precisera systemens räckvidd, det vill säga avståndet mellan sändare och mottagare och hur djupt in i konstruktionen sensorn kan vara placerad.

Trådlösa sensorer överför information genom att sända radiovågor som detekteras av en mottagare vid en viss frekvens. Radiovågorna dämpas av armerad betong och därför är det viktigt att hitta exempel på vilka frekvenser som har visat sig fungera i sådana konstruktioner. I litteraturstudien har flera olika system hittats men inget system finns tillgängligt som en kommersiell produkt, se tabell 1.

*Tabell 1: Frekvens och räckvidd i luft för så kallade aktiva trådlösa sensorer*

Författare	Frekvens	Räckvidd [m]	Avstånd till betongyta [mm]
Chang och Hung [8]	868 MHz	7.3 - 12.2	-
Saafi et al. [9]	916.5 MHz	-	100
Quinn och Kelly [10]	433 MHz	3.5 - 7.5	500
Taiheiyo Cement [12]	13.56 MHz	0.1	25-45
Sjöberg och Gerstig [1]	868 MHz	0.5-3	200
Sjöberg och Gerstig [1]	125 kHz	<0.7	500





---

# Innehåll

---

<b>1</b>	<b>Introduktion</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Teoretisk bakgrund</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Praktiska exempel på trådlösa sensorer ingjutna i betong från vetenskapliga tidskrifter</b>	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>Diskussion</b>	<b>9</b>
<b>5</b>	<b>Konklusion</b>	<b>11</b>
	<b>Litteraturförteckning</b>	<b>13</b>



---

# Kapitel 1

## Introduktion

---

Byggbranschen arbetar aktivt med att föra in industrialiserat tänkande i byggprocessen. En del i detta är planering och kontroll av material och produktion. Trådlösa sensorer kopplade till ett trådlöst nätverk används för detta i stor omfattning och med god erfarenhet inom många andra sektorer och företag.

Denna förstudie utgörs av en litteraturstudie som specifikt fokuserar på frågan om det går att trådlöst överföra information från ingjutna givare i armerad betong till en mottagare placerad in närheten (inom 100 m). Genom att studera resultat från tidigare undersökningar i det här ämnesområdet kan detta antingen bekräftas eller avfärdas. Referenslitteratur som presenterades i rapporten, 'Trådlös mätning av temperatur i nygjuten betong', [1] har inte ingått i litteraturstudien. Däremot har resultaten från denna rapport beaktats.

Det färdiga systemet förväntas bidra till en rationellare och effektivare byggprocess, och då särskilt en effektivare betongproduktionsprocess, genom att det möjliggör mer optimerade val av betong, arbetsutförande, material och kombinationer av dessa i olika systemlösningar. Detta ökar också möjligheterna för en bra riskhantering. Totalt sett medför detta en billigare produktionsprocess och en mer nöjd slutkund. Genom erfarenhetsåterföring kommer aktörernas kunskap om betong, arbetsutförande och system att ökas, vilket innebär en ytterligare förbättrad betongproduktion.

Den här rapporten har som mål att redovisa exempel på mätsystem där trådlösa sensorer ingjutna i betong har använts. I detta ingår att redovisa vilka frekvensområden som tillämpas och räckvidden för dessa system. Ett mål är också att hitta kommersiella system som redan finns på marknaden. Dessutom ska förstudien resultera

## I. INTRODUKTION

---

i förslag till fortsatta forsknings- och utvecklingsprojekt inom området.

---

# Kapitel 2

## Teoretisk bakgrund

---

Trådlösa sensorer överför information via radiovågor genom att generera en elektromagnetisk vågrörelse som detekteras av en mottagare. Vågrörelsen omformas på ett visst sätt för att överföra information vilket tolkas av mottagaren. Dessa radiovågor störs och försvagas av material som omger den sändande enheten. Armerad betong utgör ett effektivt hinder för radiovågor, men det innebär inte att det är omöjligt att sända ut signaler från en betongbyggnad.

För tio år sedan utfördes en teoretisk parameterstudie på Lunds tekniska högskola för att utreda hur armeringsnät och betong påverkar radiovågors fortplantning och reflektion. Utredningen utfördes av José Víctor Rodríguez Rodríguez och resulterade i ett examensarbete på avdelning Elektrovetskap under ledning av Mats Gustafsson[2]. Påverkan på radiovågornas fortplantning och reflektion undersöktes teoretiskt genom att variera armeringsnätets täthet, och armeringsstängernas diameter samt betongens beskaffenhet.

Resultatet från den teoretiska studien rörande radiovågor genom betong sammanfattades av författaren i följande konklusioner.

**Transmission och reflektion av radiovågor** genom en armerad betongkonstruktion beror på ett komplext samspel mellan armeringens geometri och egenskaper hos betongkonstruktionen i sig själv. En radiosignal dämpas både av betongen och armeringsnätet. I väggar är påverkan av armeringsgittret starkare, speciellt vid låga frekvenser, där våglängden är mycket större än sidan i rutnätet i armeringen. När frekvensen ökar, blir betongens inverkan större.

**Variationer i tjocklek, relativ permittivitet samt infallsvinkeln** ger en betydande förändring i reflektion och transmissionsegenskaper hos byggnadsdelen. Likaså påverkas resultatet av diametern på armeringsjärnen. Små variationer i diameter ger en försumbar effekt, men större förändringar har en stor betydelse för både transmission och reflektionsegenskaperna.

Chiba och Miyazaki undersökte hur en armerad betongkonstruktions reflektions- och transmissionsegenskaper påverkas av frekvens och infallsvinkel och resultatet redovisades i en artikel publicerad 2002 [3]. Dels utfördes en datorsimulering för en armerad betongkonstruktion utförd i skala 1:10, och dels jämfördes resultaten från simuleringen mot ett experiment utfört i samma skala.

Studien är intressant eftersom reflektions- och transmissionsegenskaperna har betydelse för att kunna förutsäga effektiviteten i mobila kommunikationssystem i en byggnad som till övervägande del är uppbyggd av armerad betong. Dessutom är den intressant för att den inkluderar experiment som validerar simuleringen. Mobila kommunikationssystem behöver nödvändigtvis inte betyda mobiltelefonsystem utan kan också innebära dataöverföringssystem liknande ett trådlöst datornätverk ett så kallat Local Area Network, LAN. Frekvensområdet för den här studien är mellan 0.3 till 3.5 GHz vilket ofta används för mobilkommunikation.

Konklusionen är att studien visat att radiovågor i det nämnda frekvensområdet leds igenom armerad betong, åtminstone i en nerskalad modell. Lite förenklat kan man säga att transmissionsförlusterna beror på infallsvinkeln mot armeringsnätets utbredning och ökar ju spetsigare vinkeln är. När radiovågor sänds vinkelrät mot en armerad betongkonstruktion är transmissionsförlusterna som lägst och reflektionsförlusterna som högst och vice versa.

---

## Kapitel 3

# Praktiska exempel på trådlösa sensorer ingjutna i betong från vetenskapliga tidskrifter

---

Det finns ett mindre antal publikationer rörande trådlösa sensorer i betong som är publicerade i vetenskapliga tidskrifter, [4–10].

Trådlösa sensorer kan delas in i passiva och aktiva sensorer där passiva inte kräver någon egen energikälla för att lämna ifrån sig information i motsats till aktiva sensorer kräver en egen energikälla.

I en artikel av Ong et al. från 2008 [4] presenteras en trådlös passiv sensor för realtidsövervakning av fuktinnehåll i byggnadsmaterial. I studien undersöks en sensor som baseras på en kapacitiv fuktsensor som ändrar den dielektriska konstanten då fuktigheten ändras. Systemet har en mycket begränsad räckvidd (centimeter) och avläses genom att föra instrumentet över betongytan direkt över den ingjutna sensorn. Systemet testades genom att lägga sensorn i både fuktig sand och färskt cementbruk (oarmerat). Därefter följdes fuktinnehållet under uttorkning i sanden respektive uttorkning under härdning i bruket.

Stojanović et al.[5] publicerade i tidskriften Sensors en artikel som beskriver en liknande trådlös passiv sensor med motsvarande karakteristik som sensorn beskriven av Ong et al. [4]. I den här artikeln testades sensorerna på tegel och autoklaverad lättbetong. Också i det här fallet registrerar sensorerna skillnader i fuktinnehåll. Begränsningarna i systemet är av samma karaktär som i den föregående beskrivna passiva sensorn, med en begränsad räckvidd mellan avläsningsenhet och sensor.

### 3. PRAKTISKA EXEMPEL PÅ TRÅDLÖSA SENSORER INGJUTNA I BETONG FRÅN VETENSKAPLIGA TIDSKRIFTER

---

Agrawal et al. redovisar resultat från en undersökning om Corrosion monitoring systems, CMS, korrosionövervakningssystem där de använder sensorer ingjutna i betong [6]. Dessa sensorer, så kallade Smart pebbles, är utrustade med ett radio frequency identification kretskort, RFID, som innebär att man kan läsa av dem på distans. Dock är räckvidden begränsad. I samma artikel redovisas också en annan ingjutningsbar sensor, ECI-1, som också kan känna av temperatur och relativ fuktighet. ECI-1 sensorn verkar inte vara försedd med en sändarenhet och måste därmed kopplas med en sladd till en sändare som placeras utanför betongen. I denna artikel nämns inte avståndet mellan sändare och mottagare och inte heller sändarfrekvensen.

Helbig et al. redovisar i en artikel, 'Entwicklung eines Sensorsystems zur Messung der Ausgleichsfeuchte in Estrichen', resultaten från ett försök där fukt och temperatursensorer har gjutits in i en armerad golvplatta med en betong av hållfasthetsklass C 30/37 [7]. Sensorerna är inkapslade i ett fuktgenomsläppligt material. Därmed är de skyddade mot alkalijoner och vatten i vätskefas under gjutskedet. Data sänds via en RFID enhet som också är inkapslad tillsammans med sensorn. Resultaten från fukt och temperaturmätningen stämmer väl med ett förväntat härdnings- och uttorkningsförlopp efter gjutning. Det går inte att utläsa vilket avståndet är mellan sändare och mottagare. I denna artikel nämns inte avståndet mellan sändare och mottagare och inte heller sändarfrekvensen.

Chang och Hung har också utvecklat ett trådlöst mätsystem för betong med ingjutna sensorer [8]. Mätteknik möjliggör direkta, realtidsmätningar och kontinuerlig uppföljning av temperatur och luftfuktighet via trådlös signalöverföring. Sändaren är en så kallad Radio frequency integrated circuit, RFIC. Frekvensen som används i studien är inte specificerad men sändaren arbetar i tre olika frekvenser, 2.4 GHz, 915 MHz och 868 MHz. Uppmätta temperaturer jämfördes med resultatet av en Pt-100 termometer. Utformningen av höljet och dess tätning minskar risken för skador på grund av gjutning och vibrering under byggskedet. Experiment visar att mängden av armeringsstål och RF-signalstyrkan är negativt korrelerade. Det effektiva avståndet för mottagning av data för betong utan stålstänger är < 19 m, och < 12.2 m när ett blockerande hinder finns mellan gjutning och mottagare. Om ett hinder finns minskar det effektiva avståndet för mottagning för armerad betong till < 12 m, och med hinder mellan sändare och mottagning reduceras avståndet ytterligare till < 7.3 m.

Saafi et al. utreder i sin artikel, 'Wireless and embedded nanotechnology-based systems for structural integrity monitoring of civil structures: a feasibility study', om det är möjligt att använda trådlösa system för att övervaka betongkonstruktioner[9]. Författarna visar att det är genomförbart att använda trådlösa och ingjutna nano-



teknik-baserade system för att övervaka betongkonstruktioner. Som ett bevis på konceptet, tillverkades två typer av trådlösa enheter och utvärderades genom ett forskningsprogram. Dessa enheter var försedda med Microelectromechanical systems sensorer MEMS, för att övervaka temperatur och fukt inne i betong och nanorör för att upptäcka/övervaka sprickor. Undersökningen visade att det är möjligt att tillverka ett sådant här system. MEMS sensorn tillverkades 'in-house'. Antennen anslöts till sensorn och placerades utanför provkroppen av betong. Sändarfrekvensen var 916.5 MHz. Systemet testades i ett rätblock (300 mm\*300 mm\*200 mm) av betong där placeringen var placerad i centrum. Avstånd mellan sändare och mottagare är inte angivna i den här referensen.

Quinn och Kelly utförde också en undersökning av möjligheten att använda ingjutna givare för att övervaka härdning av betong [10]. Sensorer med sändare som använder en frekvens av 433 MHz placerades dels i ett armerat rätblock (600 mm\*600 mm\*300 mm) av betong och dels i ett större rätblock (600 mm \* 600 mm \* 300 mm) för att simulera betong på en arbetsplats. Resultatet visade att sändsträckan var < 3.5 meter från ytan av den armerad betongen och stålformen. När stålformen monterades bort ökade sändsträckan till < 7.5 meter. Avståndet från betongyta till ingjuten sensor var från 50 mm till maximalt 500 mm.

Sändning av data genom armerad betong har också visats i en artikel av Gamm et al.[11], dock är sensorerna inte ingjutna i det här fallet. Systemet är utvecklat för att övervaka garageportar och larm och styra driften i en byggnad. Parametrar så som öppna eller stängda dörrar, status på larm och innetemperatur kan övervakas på distans. Data sändes i det här fallet genom två väggar av armerad betong med < 12 m mellan sensor och sändare.

Resultatet från vetenskapliga tidskrifter som behandlar trådlösa sensorer ingjutna i betong är redovisat i tabell 3.1.

*Tabell 3.1: Frekvens och räckvidd i luft för så kallade aktiva trådlösa sensorer*

Författare	Frekvens	Räckvidd [m]	Avstånd till betongyta [mm]
Chang och Hung [8]	868 MHz	7.3 - 12.2	-
Saafi et al. [9]	916.5 MHz	-	100
Quinn och Kelly [10]	433 MHz	3.5 - 7.5	500



---

# Kapitel 4

## Diskussion

---

Räckvidden för sändningen av data beror av hur stor del av den tillgängliga energin som man är villig att använda för varje sändning och hur ofta data ska överföras. Det betyder också att om man använder mycket energi för att skicka signalen så minskar den möjliga användningstiden eller så ökar storleken på sensor och sändare. Det går relativt bra att sända genom betong men om fler betongväggar finns mellan sändare och mottagare så försämras räckvidden betydligt. Själva mätningen av önskad parameter är inte så energikrävande.

Inget av de redovisade systemen finns som en kommersiell produkt på marknaden. De är alla system som är ihopsatta specifikt för att undersöka möjligheten att mäta parametrar viktiga för till exempel livslängden med trådlösa sensorer.

Två av systemen system som utmärker sig i studien är Chang och Hung [8] samt Quinn och Kelly [10]. Dessa system har angett räckvidden i antal meter och båda verkar ha kommit fram till resultat i samma storleksordning, cirka 10 meter. Quinn och Kelly [10] har dessutom angett att sändsträckan i betong är max 500 mm, vilket är en intressant parameter.

Även [1] redovisar att resultat kunnat förmedlas genom 500 mm armerad betong vid lägre frekvenser. Dock var sändsträckan begränsad till  $>0.7$  m i glest armerad betong. Där finns också en kompletterande teoretisk studie. Dessutom har Taiheiyo Cement [12] visat i ett produktdatablad att de sänder data genom 10 cm luft och 25-45 mm betong vid frekvensen 13.56 MHz.

Lars Olsson, Science Center, LTH, Lunds Universitet, informerade om att sändningspotentialen/räckvidden ökar betydligt om det är tillåtet att placera en stålplatta i ytan som fungerar som en antenn. Problemet som då återstår är om ytterligare be-

#### 4. DISKUSSION

---

tongväggar/golv hindrar radiovågorna. Det problemet är lättare att komma förbi eftersom det då är möjligt att sätta upp flyttbara extra sändare för att vidarebefordra signalerna. Dessutom reflekteras signalerna mot betongväggar och golv och passerar genom öppningar.

Hans Frennberg och Magnus Gustafsson, FOI, informerade om att FOI har utfört undersökningar som tangerar förstudiens område. De har forskat på radar för att "se genom" en armerad betongvägg. De har även ett samarbete med institutionen Elektro och informationsteknologi, LTH, Lunds Universitet. Lars Olsson, som intervjuats har också arbetat på den avdelningen. Sökningen i FOIs publikationsdatabas gav tyvärr inte heller några träffar som var relevanta för det här ämnesområdet.

Per Engblom och Jurek Debrowski, Ericsson, gav mig kortfattad information om radiovågor genom betong. Den viktigaste informationen som kom från dem var att armeringen helt stoppar långa vågor (låga frekvenser). Högre frekvenser med korta vågor kan teoretiskt propageras bättre. Debrowski gissade att vid 10 cm armeringsnät och om den genomsnittliga dielektriska konstanten i betongen är 6 så ligger frekvensgränsen vid cirka 1 GHz (räknad som för en våg ledare). Vid högre frekvens än 1 GHz propageras vågorna bättre, kanske med större förluster men med mindre och mindre reflektioner.

---

## Kapitel 5

### Konklusion

---

Litteratursökningen har inte gett några träffar rörande grundläggande teorier om vilka frekvensområden som lämpar sig för att sända data genom armerad betong.

Det finns inte idag några kommersiella system med trådlösa sensorer för att övervaka armerade betongkonstruktioner. De senaste årens forskning visar att det finns potential att utveckla fungerande trådlösa system för t.ex. hållfasthetstillväxt, uttorkning och risken för plastiska sättsprickor.

Räckvidden för ett system skulle öka betydligt om det är möjligt att koppla antennen till en rostfri plåt som sitter i ytskiktet av betongkonstruktionen.

Den här förstudien har utmynnat i två förslag till framtida forskningsprojekt.

Ett mera generellt forskningsprojekt som handlar om att etablera radiovågors rörelse och utbredning i armerad betong. Det syftar till att ge kunskap om frekvenser, inverkan av antenneffekt, geometri, armeringens påverkan mm.

Ett praktiskt utvecklingsprojekt med avgränsning till ytplacerad antenn. Projektet skall utprova ett system med lämplig antennutformning, slavsändare och mottagare och omfatta labtester och fältförsök följt av pilottest i ett projekt.



---

# Litteraturförteckning

---

- [1] A. Sjöberg and M. Gerstig. Trådlös mätning av temperatur i nygjuten betong, litteratur- och experimentell fältstudie. Rapport TVBM-3149, Avd. Byggnads-material, 2009.
- [2] José Víctor Rodríguez Rodríguez. Radiowave propagation through window panes and reinforced concrete structures – an application of frequency selective surface techniques. Master thesis, Institutionen for Elektro- och informations-teknik, P.O. Box 118, S-221 00 Lund, July 2001.
- [3] H Chiba and Y Miyazaki. Dependence of radio wave reflection and transmission characteristics of reinforced concrete slabs on frequency and angle of incidence. *ELECTRONICS AND COMMUNICATIONS IN JAPAN PART I-COMMUNICATIONS*, 85(1):69–81, 2002.
- [4] Justin B. Ong, Zhanping You, Julian Mills-Beale, Ee Lim Tan, Brandon D. Pereles, and Keat Ghee Ong. A Wireless, Passive Embedded Sensor for Real-Time Monitoring of Water Content in Civil Engineering Materials. *IEEE Sensors journal*, 8(11-12):2053–2058, NOV-DEC 2008.
- [5] Goran Stojanovic, Milan Radovanovic, Mirjana Malesev, and Vlastimir Radonjanin. Monitoring of Water Content in Building Materials Using a Wireless Passive Sensor. *Sensors*, 10(5):4270–4280, MAY 2010.
- [6] A. K. Agrawal, Z. Yi, S. Alampalli, M. Ettouney, L. King, K. Hui, and M. Patel. Remote corrosion monitoring systems for highway bridges. *Practice Periodical on Structural Design and Construction*, 14(4):152–158, 2009.

- [7] S. Helbig, A. Steinke, W. Hummel, B. Janorschke, and R. Plagge. Entwicklung eines sensorsystems zur messung der ausgleichsfeuchte in estrichen. In *Proceedings of the First European Conference on Moisture Measurement - Aquametry*, pages 458–469, 2010.
- [8] Hung S.-S. Chang, C.-Y. Implementing rfc and sensor technology to measure temperature and humidity inside concrete structures. *Construction and Building Materials*. Article in Press.
- [9] Kaabi L.b McCoy-M.c Romine P.c Saafi, M.a. Wireless and embedded nanotechnology-based systems for structural integrity monitoring of civil structures: A feasibility study. *International Journal of Materials and Structural Integrity*, 4(1):1–24, 2010.
- [10] Kelly G. Quinn, B. Feasibility of embedded wireless sensors for monitoring of concrete curing and structural health. volume 7647, San Diego, CA, 2010. cited By (since 1996) 0; Conference of Sensors and Smart Structures Technologies for Civil, Mechanical, and Aerospace Systems 2010; Conference Date: 8 March 2010 through 11 March 2010.
- [11] Kostic M. Sippel-M. Reindl L.M. Gamm, G.U. Low power wireless sensor node for use in building automation. Clearwater Beach, FL, 2011. Conference of 2011 IEEE 12th Annual Wireless and Microwave Technology Conference, WAMICON 2011; Conference Date: 18 April 2011 through 19 April 2011.
- [12] Taiheiyo Cement, produktdatablad för trådlösa sensorer ingjutna i betong (på japanska)